

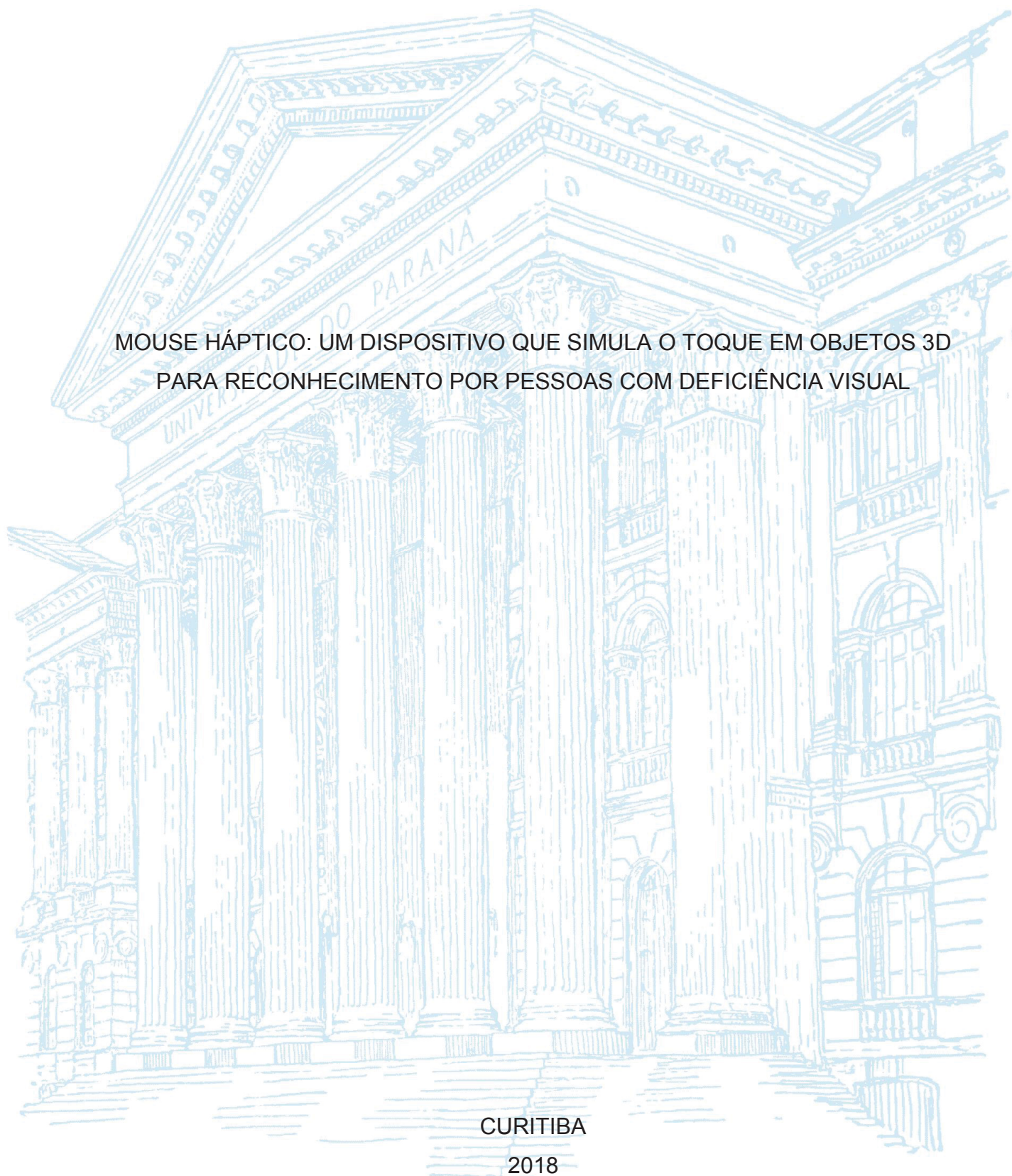
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANI BERTOLLA SAMPAIO

MOUSE HÁPTICO: UM DISPOSITIVO QUE SIMULA O TOQUE EM OBJETOS 3D
PARA RECONHECIMENTO POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

CURITIBA

2018



GIOVANI BERTOLLA SAMPAIO

MOUSE HÁPTICO: UM DISPOSITIVO QUE SIMULA O TOQUE EM
OBJETOS 3D PARA RECONHECIMENTO POR PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA VISUAL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Silva

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S192m

Sampaio, Giovani Bertolla

Mouse háptico: um dispositivo que simula o toque em objetos 3D para reconhecimento por pessoas com deficiência visual / Giovani Bertolla Sampaio. – Curitiba, 2018.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Informática, 2018.

Orientador: Luciano Silva .

1. Deficientes visuais. 2. Software. 3. Projeto de acessibilidade . I. Universidade Federal do Paraná. II. Silva, Luciano. III. Título.

CDD: 681

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

APROVAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INFORMÁTICA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em INFORMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GIOVANI BERTOLLA SAMPAIO** intitulada: **MOUSE HÁPTICO: UM DISPOSITIVO QUE SIMULA O TOQUE EM OBJETOS 3D PARA RECONHECIMENTO POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 05 de Outubro de 2018.

LUCIANO SILVA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

OLGA REGINA PEREIRA BELLON

Avaliador Interno (UFPR)

CAROLINE MAZETTO MENDES

Avaliador Externo (UP)



DEDICATÓRIA

À minha mãe, Lucineide Bertolla Sampaio,
que foi imprescindível para a conquista deste
mestrado e agora assiste a este desfecho a
partir de um ponto de vista superior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por possibilitar e preparar todos os eventos para que eu concluísse esta etapa da minha evolução.

Aos meus pais, Lucineide Bertolla Sampaio e Antonio Soares Sampaio, por me educarem tão bem quanto puderam, por todo o suporte, amor, apoio, e esforço dedicado ao meu desenvolvimento.

À minha namorada Bruna Natali da Costa por estar ao meu lado nos momentos difíceis, me apoiando pessoalmente, e até auxiliando academicamente da melhor forma possível.

Aos meus amigos colegas de laboratório, Jonathan Szlachta, Fernando Eduardo Silva, Raphael Ksiaskiewicz Czovny, Flávio Henrique Silva, Antonio Paes, e Thiago Pradi. Cada um teve fundamental contribuição para o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos meus familiares por todo o apoio pessoal e financeiro prestado, bem como o apoio aos meus pais enquanto não estive por perto.

À todos os meus amigos que mantiveram meu ânimo por meio de conversas ou jogos. Agradecimentos especiais: Andrey Carlotti Augusto, Felipe Caléfe, Nicholas Muraro, Willian Francisco do Nascimento, Alan Rodrigues, Denian Souza, Lucas Piovani, Marcelo Cassú, Murilo Vicente Corrêa, Enzo Carreri, Isac Soares, Alane Marie Lima, Daniel Maurício Pedernera Parada, Felipe Martinhuk, Renalton Cerqueira Filho, e Ricardo Lima.

Ao meu professor orientador Luciano Silva, pela idealização do projeto, pelos ensinamentos da conduta profissional, pela confiança, e pela oportunidade de desenvolvimento do projeto.

À banca avaliadora, composta por Olga Bellon, e Caroline Mazetto, que contribuiu com ótimas ideias, correções, e orientações.

À todos os professores que um dia já deram aula para mim, e principalmente àqueles que me incentivaram a seguir a carreira acadêmica, Adalberto Coutinho, Ana Paula Ribas,

Roger Santos, Hélder Leal da Costa, Diego Garrido, Luiz Eduardo Miranda, Cláudio Yamamoto, Eduardo Gonçalves, e Simone Tostes.

Ao Instituto Paranaense de Cegos (IPC) por fornecer o espaço e os profissionais para o desenvolvimento do experimento com o público alvo, que por sua vez foram muito gentis em aceitar o convite para participarem dos testes.

À Casa do Estudante Universitário (CEU), que me acolheu e fez a minha estadia em Curitiba ser possível.

À gestão passada do governo federal, que se preocupou em possibilitar pessoas de baixa renda a terem educação de alto nível gratuitamente.

À UFPR, por toda a competência, estrutura e equipamentos de qualidade, e pelo Restaurante Universitário (RU).

RESUMO

Pessoas com deficiência visual enfrentam diariamente privações de acesso em diversas ocasiões em comparação aos videntes. Isso ocorre na sala de aula ao não poder interagir com o gráfico de uma função matemática desenhada no quadro negro, ou no museu onde não é possível tocar as peças em exposição. Essas e outras limitações que prejudicam a autonomia do indivíduo com deficiência visual podem ser reduzidas com a assistência de ferramentas computacionais hápticas. Com a motivação de diminuir essa desigualdade, esta pesquisa experimental apresenta o desenvolvimento de um dispositivo que simula o toque em objetos virtuais, com o objetivo de possibilitar a essas pessoas o reconhecimento de curvas e objetos 3D. O aparelho combina o desenvolvimento de um sistema háptico (*software*) com um dispositivo semelhante a um mouse (*hardware*). O usuário verifica o formato do objeto virtual acomodando seu dedo indicador em contato com a haste do aparelho, movimentando o dispositivo sobre uma superfície. O aparelho movimenta a haste para cima ou para baixo em tempo real enquanto o usuário move o mouse, revelando o formato do objeto. Foram desenvolvidos três protótipos, sendo que cada um foi testado por diferentes grupos de usuários e modificados conforme os resultados obtidos, a fim de otimizar o sistema e o dispositivo. Foi realizado um experimento com protótipo final com a participação de alunos e professores do Instituto Paranaense de Cegos, os quais todos possuem alguma deficiência visual e em diferentes graus. Houve oito participantes, os quais tiveram o objetivo de reconhecer os objetos do ambiente virtual. Estes objetos foram impressos em 3D e apresentados previamente aos participantes. Foram utilizados objetos geométricos e funções matemáticas: semiesfera, cubo, cone, e toroide; reta, exponencial, logarítmica, e senoide. Sobre a usabilidade do dispositivo, os voluntários relataram que utilizariam o dispositivo no cotidiano, enquanto o resultado obtido sobre o reconhecimento dos objetos foi de 75% de acurácia. Com base nos dados coletados, são discutidas abordagens para otimizar o dispositivo e o sistema em trabalhos futuros.

Palavras chave: Tecnologia háptica; Tecnologia assistiva; Deficiência visual.

ABSTRACT

Visually impaired people face daily privations of access on several occasions compared to the visionaries. This occurs in the classroom by not being able to interact with the graph of a mathematical function drawn on the blackboard, or in the museum where it is not possible to touch the pieces on display. These and other limitations that impair the autonomy of the visually impaired individual can be reduced with the assistance of haptic computational tools. With the motivation to reduce this inequality, this experimental research presents the development of a device that simulates the touching of virtual objects, with the purpose of enabling these people to recognize curves and 3D objects. The device combines the development of a haptic system (software) with a device similar to a mouse (hardware). The user checks the shape of the virtual object by placing its index finger in contact with the rod of the device by moving the device on a support surface. The device moves the surface up or down in real time while the user moves the mouse, revealing the shape of the object. Three prototypes were developed, each one being tested by different groups of users and modified according to the results obtained, in order to optimize the system and the device. A final prototype experiment was carried out with the participation of students and teachers from the Instituto Paranaense de Cegos, all of whom have some visual impairment and with varying degrees. There were eight participants, who had the objective of recognizing the objects of the virtual environment. These objects were printed in 3D and previously presented to the participants. Geometric objects and mathematical functions were used: semi sphere, cube, cone, and toroid; straight line, exponential, logarithmic, and sine wave. Regarding the usability of the device, the volunteers reported that they would use the device in daily life, while the result obtained on object recognition was 75% accuracy. Based on the data collected, we discuss approaches to optimize the device and the system in future work.

Keywords: Haptic technology; Assistive technology; Visual impairment.

LISTA DE FIGURAS

1.1	Deficiências mais populares no Brasil em 2010	16
2.1	Imagem do dispositivo PHANToM da SensAble Technologies	20
4.1	Protótipo I.	28
4.2	Estrutura interna do Protótipo I.	29
4.3	Disposição dos componentes eletrônicos.	30
4.4	Representação dos quatro pontos de contatos entre os dedos e o objeto virtual.	31
4.5	Áreas de contato no formato de linhas.	31
4.6	Protótipo II.	32
4.7	Estrutura interna do Protótipo II.	33
4.8	Disposição dos componentes eletrônicos.	34
4.9	Interface exibindo os quatro pontos de contatos, alinhados horizontalmente.	35
4.10	Hastes mais curtas e com pontos físicos de referência foram desenvolvidas.	36
4.11	Representação dos pontos de contato.	36
4.12	Protótipo III.	37
4.13	Interface apresenta o ponto de contato fixado horizontalmente sobre a pri- meira linha de <i>pixel</i> da imagem	38
4.14	UP 3D Plus, 3D Machine One e 3D Cloner DH+, respectivamente.	39
4.15	<i>Screenshot</i> capturada durante a modelagem 3D da estrutura do Mouse Háptico.	40
4.16	Exemplo de posicionamento dos dedos durante a utilização do dispositivo.	41
4.17	Servomotores HXT900 e HS-82MG, respectivamente.	42
4.18	Arduino Pro Mini e Arduino Nano, respectivamente.	42
4.19	Sensor óptico do modelo ADNS-5020.	43
4.20	Módulo de giroscópio modelo GY-521.	43

4.21	Diagrama dos componentes eletrônicos.	44
4.22	Exemplo da imagem de profundidade de um cubo 3D.	45
4.23	Fórmula do cálculo realizado.	46
4.24	Fluxograma do sistema desenvolvido em Python.	46
4.25	Fluxograma do sistema desenvolvido no Arduino.	47
4.26	Interface da aplicação de calibração.	48
4.27	Estimação da angulação desenvolvida pelas hastes hápticas.	49
4.28	Exemplo hastes em movimento de acordo com a interface.	49
4.29	Protótipo de teste com dois sensores ópticos.	50
5.1	Imagens de profundidade dos objetos utilizados no Experimento 1: cubo, semiesfera, toroide, e cone, respectivamente.	53
5.2	Objetos impressos em 3D para serem utilizados no Experimento 1: cone, semiesfera, cubo, e toroide, respectivamente.	54
5.3	Participante realizando uma tarefa do Experimento 1	55
5.4	Comparação entre o mapa de profundidade da semiesfera e do cone, respectivamente.	56
5.5	Matriz de confusão.	58
5.6	Modelagem 3D das hastes hápticas.	59
5.7	Exemplo da função de rotação do Mouse Háptico.	60
5.8	Modelagem do objeto 3D que representa uma curva exponencial.	61
5.9	Objetos utilizados no Experimento 2.	62
5.10	a) Modelos 3D da esfera e do cone, respectivamente. b) Mapas de profundidade de ambos.	63
5.11	Matriz de confusão (Fase 1 - Curvas).	65
5.12	Matriz de confusão (Fase 2 - Formas).	66
5.13	Matriz de confusão (Total).	67
5.14	Participantes durante o reconhecimento dos objetos.	70
5.15	Matriz de confusão dos participantes masculinos.	73
5.16	Matriz de confusão das participantes femininas.	74

5.17	Matriz de confusão total.	75
5.18	Gráfico comparativo entre o desempenho e a idade dos participantes. Vermelho = Mulher; Azul = Homem.	77
A.1	Comprovante do Envio do Projeto.	84

LISTA DE TABELAS

2.1	Termos da Háptica	19
3.1	Comparação entre sistemas hápticos.	26
4.1	Tabela de componentes e seus respectivos valores.	40
5.1	Comparação entre os participantes que realizaram os dois experimentos, com os que participaram apenas do segundo.	68
5.2	Dados coletados pela entrevista realizada antes do experimento.	72
5.3	Dados coletados sobre a usabilidade do dispositivo.	76

LISTA DE ACRÔNIMOS

TA	Tecnologia Assistiva
TH	Tecnologia Háptica
UFPR	Universidade Federal do Paraná
IPC	Instituto Paranaense de Cegos
3D	Três Dimensões
SMS	Short Message Service (Serviço de Mensagens Curtas)
FDM	Fused Deposition Modeling (Modelagem de Deposição Fundida)
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrila Butadieno Estireno)
PLA	Poly Lactic Acid (Ácido Polilático)
USB	Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)
XML	Extensible Markup Language (Linguagem Extensível de Marcação)
DMP	Digital Motion Processor (Processador Digital de Movimento)
EaD	Ensino a Distância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos e Metas	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Deficiência Visual	18
2.2	Tecnologia Háptica	18
2.3	Tecnologia Assistiva	20
2.4	Considerações Finais	21
3	TRABALHOS RELACIONADOS	22
3.1	TA + TH em atividades do cotidiano	22
3.2	TA + TH na Interação Humano-Computador	24
3.3	Comparação entre ferramentas semelhantes	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	Diretrizes do Dispositivo	27
4.2	Protótipos	28
4.2.1	Protótipo I	28
4.2.2	Protótipo II	32
4.2.3	Protótipo III	37
4.3	Desenvolvimento do <i>Hardware</i>	38
4.3.1	Estrutura	39
4.3.2	Componentes Eletrônicos	41
4.4	Funcionamento do <i>Software</i>	44
4.5	Considerações Finais	51
5	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	52
5.1	Experimento 1	52

5.1.1	Experimento 1 - Procedimento	54
5.1.2	Experimento 1 - Resultados	55
5.2	Experimento 2	58
5.2.1	Experimento 2 - Procedimento	63
5.2.2	Experimento 2 - Resultados	64
5.3	Experimento 3	69
5.3.1	Experimento 3 - Procedimento	71
5.3.2	Experimento 3 - Resultados	71
6	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS	83
A	Anexos	84
A.1	Comprovante do Envio do Projeto	84
A.2	Termo de consentimento - Instituto Paranaense de Cegos	85
A.3	Entrevistas	88

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo dados coletados pelo IBGE [9] no último censo realizado no Brasil, existem cerca de 6.562.910 de pessoas com alguma deficiência visual vivendo no país, o que representa cerca de 3,5% por cento da população total. Portanto, com o intuito de promover a autonomia e a independência das pessoas que possuem algum tipo de deficiência, uma área de conhecimento interdisciplinar chamada Tecnologia Assistiva (TA) desenvolve soluções capazes de tornar possível a realização de atividades, proporcionando novas funcionalidades, o que resulta numa melhor qualidade de vida à essas pessoas.

Ainda há muito o que ser desenvolvido no âmbito da TA, mesmo para as pessoas com deficiência visual, que é a mais prevalente deficiência no país em relação às demais, como apresentado na Figura 1.1.

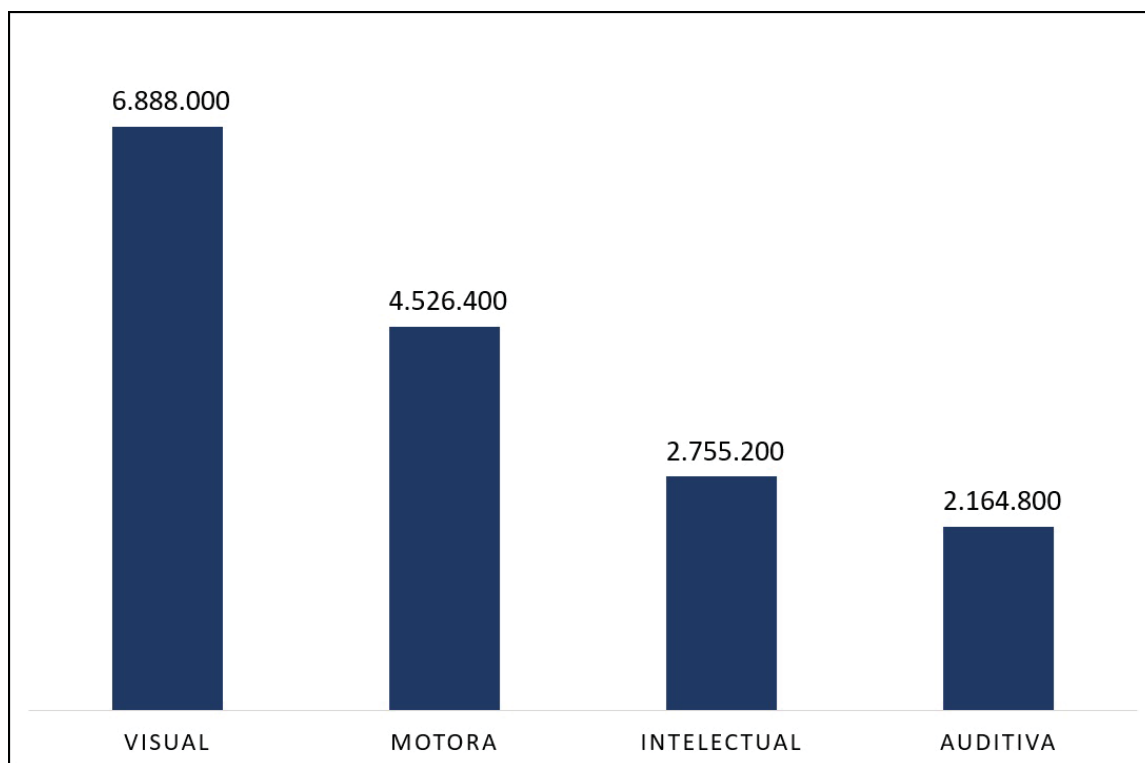


Figura 1.1: Deficiências mais populares no Brasil em 2010

Há uma área do conhecimento que possui um grande potencial para ser agregada a TA para criar novas soluções. A Tecnologia Háptica (TH) é uma área ainda pouco explorada na ciência, porém, a TH tem o propósito de promover uma interação cada vez mais natural entre humanos e máquinas. Assim sendo, a partir de um hardware e um algoritmo, torna-se possível criar diversas sensações captadas pelo sentido humano do tato, como simulação vibratória, fricção ou resposta com força (*force feedback*).

Sobre a fabricação de objetos e dispositivos de baixo custo, a tecnologia da impressão 3D é um recurso capaz de viabilizar este tipo de desenvolvimento, otimizando o tempo de fabricação de modelos 3D e tornando mais barato o progresso de projetos. Desse modo, o resultado é o aumento da margem de pessoas capazes de ter acesso a tais dispositivos.

1.1 Objetivos e Metas

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver um dispositivo háptico de baixo custo que seja capaz de proporcionar, a indivíduos que possuem alguma deficiência visual, a simulação de toque em objetos tridimensionais virtuais, possibilitando o reconhecimento desses objetos.

Os objetivos específicos do trabalho foram: *a)* elaborar o modelo de uma estrutura física para o dispositivo; *b)* propor um esquema de *hardware* adequado a estrutura e as necessidades do sistema; *c)* desenvolver um *software* háptico para a comunicação com o dispositivo; *d)* integrar os componentes eletrônicos com a estrutura, e *software*; *e)* realizar experimentos para verificar a usabilidade do dispositivo; *f)* analisar dados e opiniões coletados durante os experimentos.

As metas do presente trabalho foram: *a)* contribuir para a ciência das áreas da tecnologia assistiva e da tecnologia háptica agregando conhecimento ao apresentar uma nova ferramenta; *b)* contribuir para a evolução da qualidade de vida das pessoas com deficiência visual; *c)* elaborar e fabricar um dispositivo capaz de possibilitar indivíduos com deficiência visual a reconhecer objetos virtuais por meio da simulação do toque.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo serão apresentados três tópicos que, reunidos, compreendem o tema proposto. Na Seção 2.1 são apresentados conceitos sobre a deficiência visual. Em seguida, na Seção 2.2 a Tecnologia Háptica (TH) é introduzida, enquanto a Tecnologia Assistiva (TA) é retratada na Seção 2.3. Com essas áreas apresentadas, a Seção 2.4 evidencia a intercessão entre os temas apresentados.

2.1 Deficiência Visual

As causas de uma deficiência visual podem ser diversas, podendo ser uma cegueira por infecção, um trauma pós lesão, fraca nutrição, anomalias metabólicas, má formação durante a gestação, ou até mesmo a idade avançada [8].

Com base em dados de um extenso estudo realizado em 2010 [23], a estimativa global do número de pessoas que sofrem alguma deficiência visual aproxima-se de 285 milhões, das quais 39 milhões de pessoas são completamente cegas. Nesse estudo, o autor ainda afirma que a deficiência visual é a deficiência que atinge o maior número de pessoas em escala global.

É possível notar que, majoritariamente, a deficiência visual é a que mais atinge pessoas tanto em escala nacional quanto em escala global.

2.2 Tecnologia Háptica

A tecnologia háptica pode ser compreendida como um conjunto de ferramentas, onde atuadores mecânicos aplicam forças simulando a física do ambiente virtual, pois é possível calcular essas forças em tempo real e enviar os comandos para os atuadores com o intuito de que o usuário possa sentir fisicamente o ambiente virtual [4]. Em outras palavras, um

sistema háptico é capaz de fazer com que uma pessoa, utilizando um dispositivo háptico, possa sentir o toque em uma simulação de um objeto sólido como se estivesse em frente ao próprio objeto [25].

Na tabela 2.1 são apresentados os termos e definições dos métodos que podem ser utilizados para a execução da háptica em dispositivos [21].

Tabela 2.1: Termos da Háptica

Termos	Definição
Háptico	Relacionado com a sensação de toque.
Proprioceptivo	Relacionado com a informação sensorial sobre o estado do corpo (incluindo cutâneo, cinestesia, e sensações vestibulares).
Vestibular	Pertencente à percepção da posição da cabeça, aceleração e desaceleração.
Cinestesia	Significa o sentimento de movimento. Relacionando-se com sensações originadas nos músculos, tendões e articulações.
Cutâneo	Pertencente à própria pele ou à pele como órgão sensorial. Inclui sensação de pressão, temperatura e dor.
Tátil	Pertinente ao sentido cutâneo, mas mais especificamente à sensação de pressão do que à temperatura ou dor.
<i>Force Feedback</i> ou Resposta de Força	Relacionado com a produção mecânica de informação detectada pelo sistema cinestésico humano.

A Tecnologia Háptica ainda é pouco explorada devido as limitações de *hardware* e ao custo de desenvolvimento, porém, é uma área muito promissora [11]. Com diversas aplicações da TH, os campos da indústria e da medicina já utilizam os recursos hápticos. Na indústria, encontram-se os *smartphones* apresentando a tecnologia háptica: quando o usuário mantém seu dedo pressionado sobre um ícone na tela, o aparelho emite uma vibração em resposta desse comando. Na área da medicina, existem ferramentas para treinamento médico de cirurgias [3] que utilizam dispositivos como o PHANTOM da SensAble Technologies [18], que foi o primeiro dispositivo háptico a ser comercializado [29], no qual o usuário movimenta o dispositivo pelos eixos x, y e z enquanto a força dos motores internos é aplicada de acordo com o *software* (Figura 2.1).



Figura 2.1: Imagem do dispositivo PHANTOM da SensAble Technologies

2.3 Tecnologia Assistiva

Objetivando possibilitar pessoas com deficiência a ter acesso aos mais diversos conteúdos de informação, a Tecnologia Assistiva propõe-se a desenvolver soluções que tornam possível a realização de atividades que anteriormente não poderiam ser executadas por tais pessoas. Outra forma de aplicação da TA é a otimização da execução de tarefas, viabilizando ao usuário uma maior habilidade de aprendizado ou trabalho, ampliando sua comunicação ou mobilidade. A meta é prover, a essas pessoas, cada vez mais o controle de seu próprio ambiente.

No Brasil, o termo de Tecnologia Assistiva foi definido em 2007 pelo Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República [7]. A denominação desenvolvida para o termo da TA foi:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar,

que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Estudos comprovam a importância da tecnologia assistiva aplicada a estudantes cegos e de baixa visão, verificando, com grande aceitação dos alunos e professores, maior autonomia e desempenho durante as aulas [1].

Usualmente, referindo-se ao campo de informação gráfica para pessoas portadoras de deficiência visual, as TA aplicadas se tratam de aplicações que transformam a informação gráfica em informação auditiva [27]. Sánchez J. *et al.* apresentam um sistema [26] onde um ambiente virtual é transformado em áudio 3D para o usuário.

2.4 Considerações Finais

Recentes avanços na tecnologia possibilitaram que os componentes utilizados na TH diminuíssem seu custo, viabilizando o desenvolvimento de aplicações assistiva e interativas para pessoas portadoras de deficiência, a fim de auxiliá-las nas atividades do cotidiano dessas pessoas.

Dispositivos hápticos tem o potencial de melhorar a orientação e movimentação dos usuários, o que contribui para a melhoria nas relações interpessoais e estimulam o aprendizado de alunos com deficiência visual.

Existe uma lacuna de informações perdidas entre ouvir a informação sobre o que é apresentado na tela e sentir o toque dessa informação. Um sistema assistivo pode informar o usuário via áudio que existe um trapézio na tela, mas sentir com o tato o formato dessa geometria pode ser uma experiência mais assertiva ao usuário. Nesse sentido a tecnologia háptica apresenta capacidade para proporcionar uma simulação de toque nos objetos virtuais 3D.

CAPÍTULO 3

TRABALHOS RELACIONADOS

Com o objetivo de investigar, catalogar e comparar ferramentas já existentes, neste capítulo é apresentada uma série de trabalhos relacionados com o propósito de prover assistência aos indivíduos com deficiência visual pela utilização de ferramentas computacionais. Logo, na Seção 3.1 estão retratadas as tecnologias assistivas que provém respostas hápticas a pessoas com deficiência visual em áreas no cotidiano como mobilidade, comunicação, e inclusão escolar. Por sua vez, a Seção 3.2 explora dispositivos hápticos que visam a interação com objetos 3D. Consequentemente, na Seção 3.3 é realizada a comparação entre essas ferramentas e os protótipos desenvolvidos ao longo do trabalho proposto.

3.1 TA + TH em atividades do cotidiano

Na área da mobilidade, visando disponibilizar mais informações sobre o ambiente para as pessoas com deficiência visual, Ramirez *et al.* [24] desenvolveram uma bengala háptica. Esta bengala é capaz de identificar um obstáculo próximo do usuário na altura de seu rosto, evitando acidentes. O dispositivo é equipado com um sonar para identificar os obstáculos, enquanto um micromotor é responsável por vibrar conforme a proximidade do objeto, alertando o usuário sobre o obstáculo encontrado.

Com o foco em pessoas com deficiência motora, o trabalho de Hadj-Abdelkader *et al.* [13] também pode ser útil a pessoas com baixa visão. O trabalho se trata de um sistema de uma cadeira de rodas apta a desviar de objetos dentro de 4 metros de distância. Controlada por um *joystick*, o sistema determina as áreas livres na direção do caminho sendo percorrido com sensores a laser. Quando um objeto é detectado, o usuário sente a resposta háptica do *joystick* e escolhe uma das opções de espaço livre calculado pelo sistema, que por sua vez se movimenta desviando do obstáculo.

Contribuindo no âmbito da comunicação, uma interface assistiva de interações interpessoais desenvolvida por Krishna *et al.* [14] apresenta uma luva equipada com 14 de motores vibratórios. Estes motores, posicionados um em cada falange dos dedos indicador, médio, anelar, mínimo, e polegar, recriam de forma simplificada as expressões universais básicas (felicidade, tristeza, surpresa, neutra, raiva, medo, e nojo).

Um dispositivo háptico desenvolvidos para pessoas com deficiência visual e auditiva foi projetado por Choudhary *et al.* [6]. O dispositivo é uma luva que se conecta com o *smartphone* do usuário via *bluetooth* e converte os textos para o braille, que é apresentado nas costas da mão por uma matriz de 3x2 composta por motores vibratórios. O dispositivo ainda possui uma matriz 3x2 de sensores de toque que ficam na palma da luva, possibilitando o usuário digitar um texto em braille que será convertido pela luva e enviado ao *smartphone*.

No campo da inclusão escolar outro dispositivo baseado luva foi proposto, onde o objetivo do sistema háptico é de orientar os usuários sobre os movimentos realizados pela mão do professor durante uma explicação que envolva gráficos, por exemplo. O sistema de Oliveira *et al.* [22] é composto por uma câmera que lê os movimentos da mão do professor enquanto o sistema gera a resposta háptica de vibração para os oito pontos de contato com a mão do usuário nas direções norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, e sudoeste.

Um sistema háptico desenvolvido por Jenna L. *et al.* [30] propõe uma tela, com sensores de toque e atuadores vibratórios, capaz de prover a sensação de toque. O dispositivo tem a finalidade de prover assistência a alunos com deficiência visual, sendo utilizado em sala de aula para representar linhas, pontos, grades, e formas. Além do *feedback* tátil, o dispositivo conectado a um computador também oferece *feedback* auditivo sobre o conteúdo apresentado pela interface.

Vinte aplicações hápticas foram criadas por Murphy e Darrah [20] com o intuito de serem utilizadas pelo dispositivo Novint Falcon, aparelho considerado de baixo custo (cerca de \$250 dólares) que provê três graus de liberdade (X, Y, Z). Essas aplicações possibilitam sensações tátil e sinestésicas para ensinar o aluno sobre matemática e ciência com temas

como volume de objetos tridimensionais e células de plantas.

3.2 TA + TH na Interação Humano-Computador

Outros dispositivos hápticos foram estudados e para a compreensão do funcionamento dos mesmos, bem como as aplicações nas quais são utilizados. Será apresentada uma breve análise sobre esses trabalhos que, de alguma forma, assemelham-se ao dispositivo proposto.

Um dispositivo háptico chamado SPIDAR-Mouse foi desenvolvido por Asai *et al.* [2] com o intuito de viabilizar a interação do usuário com objetos reais por meio de um sistema háptico. As informações de profundidade dos objetos do mundo real são captadas por um sensor Kinect. De acordo com o movimento do mouse sobre a representação virtual do objeto, o aparelho de dois graus de liberdade (X,Y) responde com simulações de colisões pelos 4 motores sob a superfície onde o mouse navega, transmitindo esses movimentos através de cabos.

Krusteva *et al.* [15] criaram um sistema háptico nomeado de Marionette, a fim de simular o toque em mapas de terreno em relevo. Com suporte a quatro dedos, suas hastes aplicam dois graus de liberdade para cada dedo, rotacionando em torno dos eixos X e Y de acordo com a curvatura do terreno virtual representado pelo ambiente virtual. Os primeiros resultados obtidos dos testes realizados apontam que a usabilidade do dispositivo é melhor aproveitada utilizando os quatro dedos em relação a experiência obtida com apenas um dedo.

No trabalho de Dima *et al.* [10] um experimento é conduzido para comparar a experiência de toque dos objetos físicos com todos os dedos, e a experiência de tocar o mesmo objeto por meio do dispositivo háptico Phantom, que oferece apenas um ponto de contato. O resultado obtido foi de que a primeira experiência foi mais eficaz, por conta do volume informação háptica obtida, já que obtêm-se mais pontos de contato.

Tsuboi *et al.* [31] desenvolveram um aparelho que simula o formato de uma esfera virtual a partir de uma matriz de micro atuadores que se movimentam ao longo do eixo Z. Estes pinos são acomodados numa placa fixada a frente do suporte, com formato de

mouse, para a mão do usuário. A superfície da placa háptica oferece espaço para que o usuário utilize até três dedos a fim de obter a resposta háptica.

Um pequeno e leve dispositivo háptico desenvolvido por Chinello *et al.* [5] é acoplado ao dedo do usuário, oferecendo dois pontos de contatos, sendo duas plataformas que respondem aos motores acoplados na parte traseira do dedo. O dispositivo provê três graus de liberdade para o usuário explorar a superfície do objeto simulado.

Oferecendo seis graus de liberdade (X, Y, Z, e rotação em torno de cada um desses eixos) e 12 pontos de contatos dispostos pela mão do usuário, o trabalho de Martinez *et al.* [17] apresenta um dispositivo háptico em forma de uma luva. O sistema é capaz de obter a posição e a orientação da luva para comparar com a posição do objeto virtual estipulando com que frequência vibratória os atuadores realizam a resposta háptica ao usuário.

O trabalho de Suzuki *et al.* [28] apresenta um dispositivo háptico de um grau de liberdade com seu formato sendo baseado em um mouse, com finalidade de prover a percepção da superfície de objetos 3D virtuais. A placa onde o dedo indicador é apoiado se movimenta ao longo do eixo Z para prover a sensação de relevo dos objetos.

Um sistema háptico para interação com objetos 3D em um ambiente virtual foi desenvolvido por Lopes *et al.* [16], de modo que estímulos elétricos criam uma contra força que faz com que o usuário respeite os limites dos objetos e do ambiente virtual. Quatro pares de eletrodos atuam nos pulsos, bíceps, tríceps, e ombros para gerar a sensação de toque nos objetos virtuais macios ou rígidos.

Com o objetivo de interagir com objetos de um ambiente virtual, Frati e Prattichizzo [12] criaram um sistema háptico que utiliza um sistema de rastreamento da mão para projetar a mão do usuário para o ambiente virtual. Um sensor Kinect é utilizado para realizar o rastreamento da mão, que por sua vez é acomodada com dois atuadores no dedo indicador, e no polegar, que pressionam os dedos conforme o movimento exercido pelos dedos em direção ao objeto virtual.

3.3 Comparação entre ferramentas semelhantes

Nesta seção, será apresentada a comparação entre as ferramentas avaliadas (tabela 3.1), e as versões desenvolvidas no presente trabalho (Protótipo I, e Protótipo II, e Protótipo III).

Tabela 3.1: Comparação entre sistemas hápticos.

	Pontos de Contato	Graus de Liberdade	Método Háptico	Acurácia
Asai	1	2	<i>Force Feedback</i>	20%
Krusteva	4	2	Tátil	~80%
Tsuboi	3	3	Tátil	N/A
Chinello	1	3	Tátil	~75%
Martinez	12	6	Tátil	65%
Suzuki	1	1	Tátil	N/A
Lopes	16	6	Cinestésico	N/A
Fрати e Prattichizzo	2	6	<i>Force Feedback</i>	N/A
Protótipo I	4	3	<i>Force Feedback</i>	42,50%
Protótipo II	4	4	<i>Force Feedback</i>	88,75%
Protótipo III	1	2	<i>Force Feedback</i>	75%

Indivíduos com deficiência visual frequentemente utilizam múltiplos dedos para tocar a superfície dos objetos. Experimentos conduzidos por Morash *et al.* [19] mostram que as pessoas com deficiência visual completam tarefas hápticas mais rapidamente utilizando múltiplos dedos. O estudo ainda indica que pessoas cegas são mais beneficiadas comparado a pessoas com baixa visão. Esses dados reforçam que um dispositivo háptico 3D com múltiplos pontos de contato (*multi-finger*) pode ser mais adequado e vantajoso para esse grupo de pessoas.

Usando um dispositivo que possa ser manuseado como um mouse, o usuário pode descansar o braço sobre a superfície de trabalho, o que não ocorre com o Geomagic Phantom, por exemplo, que pode causar fadiga muscular devido à falta de apoio para o braço. Além disso, o formato tanto físico quanto da usabilidade do mouse já é amplamente difundido entre os usuários de computadores, evitando que o usuário tenha que se adaptar a um novo modelo de interação com o computador.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta quatro divisões, sendo que na Seção 4.1 são definidas e elencadas as características que o dispositivo deve ter para ser desenvolvido. Na seção 4.2 os três protótipos produzidos são apresentados, enquanto nas seções 4.3 e 4.4, são retratados os processos de elaboração do *hardware* e do *software*, respectivamente. Para finalizar o capítulo, a Seção 4.5 relata as considerações finais sobre a ferramenta proposta.

4.1 Diretrizes do Dispositivo

Com o intuito de desenvolver um dispositivo de baixo custo, a prototipação das peças desenhadas para o Mouse Háptico, foi realizada pelo processo de impressão 3D.

O design do dispositivo é semelhante ao de um mouse convencional, conferindo menor tempo de adaptação do usuário com o formato da ferramenta proposta, já que o mouse é um periférico muito popular.

Como citado ao final da seção anterior (subseção 3.3), o número de dedos utilizados para o reconhecimento de objetos interfere diretamente no resultado da experiência que o usuário tem. Portanto, o dispositivo foi desenvolvido com suporte háptico para quatro dedos: indicador, médio, anelar, e mínimo; liberando o polegar para movimentação e apoio no dispositivo.

Para a comunicação entre o dispositivo e o computador, foi utilizado o Arduino, sendo um dispositivo de baixo custo, prático, e compatível com uma grande variedade de componentes eletrônicos e sistemas.

4.2 Protótipos

Na presente seção serão apresentados os protótipos desenvolvidos ao longo do projeto, apontando quais características compõem *hardware*, *software*, e abordagem háptica. O Protótipo I será apresentado em 4.2.1, o Protótipo II apresentado em 4.2.2, e o Protótipo III em 4.2.3. Após apresentados os protótipos, a maneira de como se dá o funcionamento dessas características, serão discriminadas a partir da seção 4.3.

4.2.1 Protótipo I

Nesta subseção serão apontadas as características do *hardware*, *software*, e da abordagem háptica utilizada no Protótipo I, ilustrado na Figura 4.1.



Figura 4.1: Protótipo I.

- *Hardware*: O *hardware* é considerado toda a parte física do dispositivo, desde a estrutura do corpo (Figura 4.2) até os componentes eletrônicos.

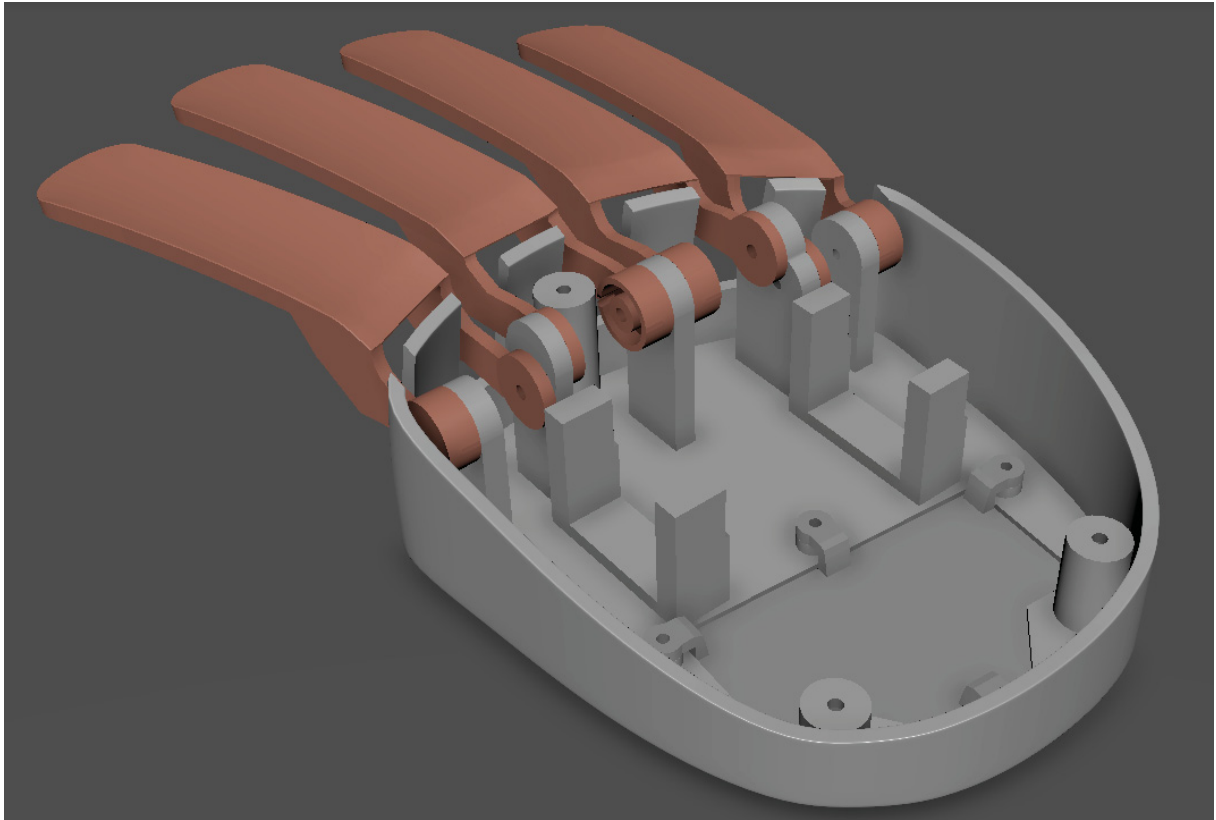


Figura 4.2: Estrutura interna do Protótipo I.

A estrutura foi impressa em 3D de modo que suportasse:

- 4 Servomotores HXT900.
- 1 Arduino Pro Mini.
- 1 Sensor óptico ADNS-5020.
- 4 Hastes longas.

Estes componentes estão integrados a estrutura na Figura 4.3 a seguir.

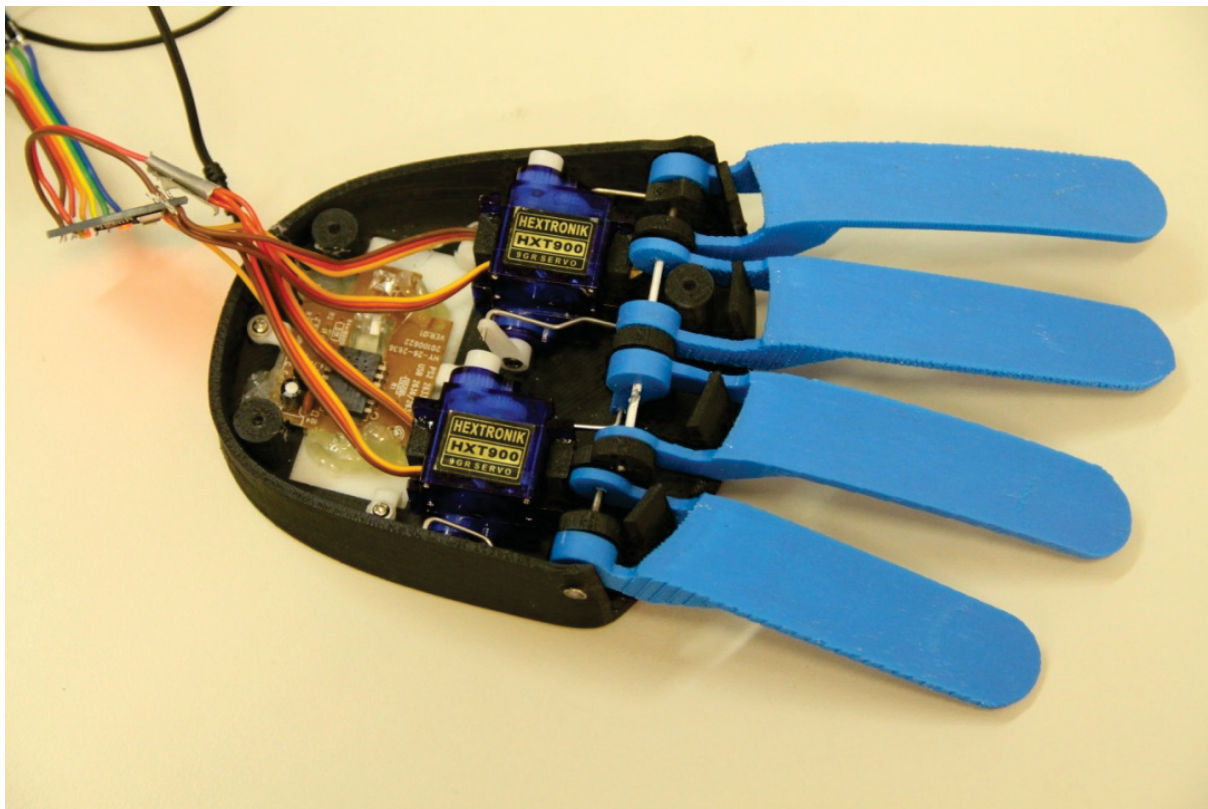


Figura 4.3: Disposição dos componentes eletrônicos.

- *Software:* Durante a execução do *software* o usuário tem liberdade de movimentação pelos eixos X e Y para navegar pelo ambiente virtual.

A *interface* desse ambiente virtual apresenta o mapa de profundidade do objeto 3D, e os pontos que referenciam o contato físico simulado.

Os pontos virtuais de referência aos dedos físicos, foram definidos por uma média de uma mão masculina e uma mão feminina, o que gerou os quatro pontos apresentados na Figura 4.4.

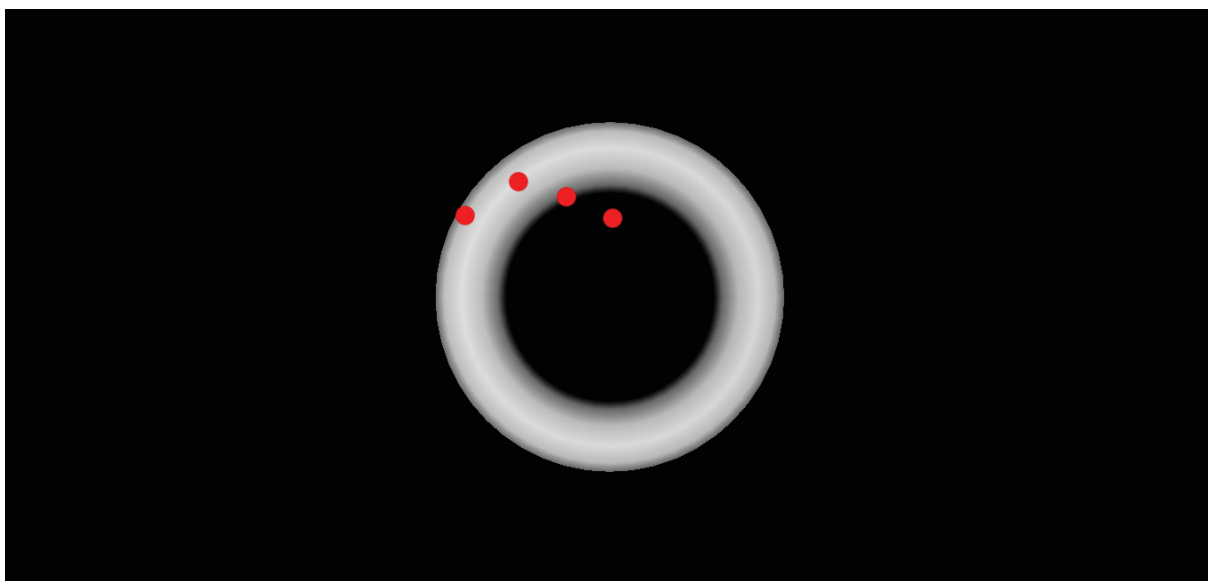


Figura 4.4: Representação dos quatro pontos de contatos entre os dedos e o objeto virtual.

- *Abordagem háptica:* O usuário pode navegar livremente pelo plano 2D criado por X e Y para encontrar as informações do eixo Z que representa o objeto apresentado pelo *software*, resultando em 3 graus de liberdade ao Protótipo I.

Após testes realizados (seção 5.1), foi observado que por conta do formato das hastes, a resposta háptica não foi objetiva o suficiente aos participantes, pois enquanto o sistema (ilustrado na Figura 4.4 pela interface) gera o *feedback* de quatro pontos, o usuário do aparelho sente o toque no formato de uma linha (Figura 4.5).

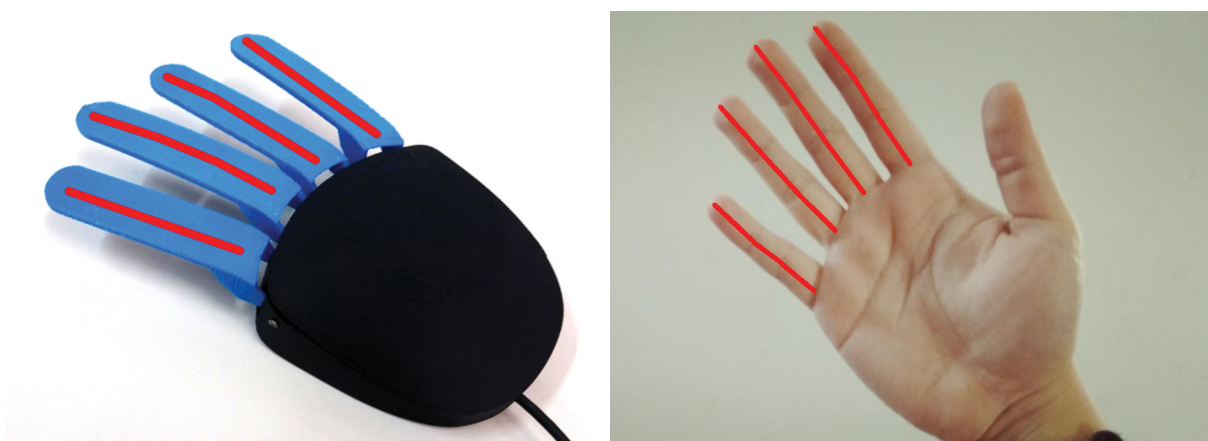


Figura 4.5: Áreas de contato no formato de linhas.

Mesmo que os usuários fossem orientados a apoiar apenas as pontas dos dedos sobre

as hastes, ainda haveria uma diferença de percepção entre uma pessoa e outra, já que não há uma referência física nas hastes para que o usuário o faça.

Para que todos os usuários tenham a mesma resposta háptica, e podendo referenciar um ponto físico com um ponto virtual (em vez de referenciar uma linha física, com um ponto virtual), o Protótipo II (Seção 4.2.2) foi desenvolvido com base nisso e em outros dados coletados durante o Experimento 1 apresentado na seção 5.1.

4.2.2 Protótipo II

Em seguida, as particularidades de *hardware*, *software*, e da abordagem háptica do Protótipo II (Figura 4.6) serão apresentadas.



Figura 4.6: Protótipo II.

- *Hardware*: A estrutura desse protótipo (Figura 4.7) tem um modelo mais complexo em relação ao do Protótipo I, pois acomoda outros componentes.

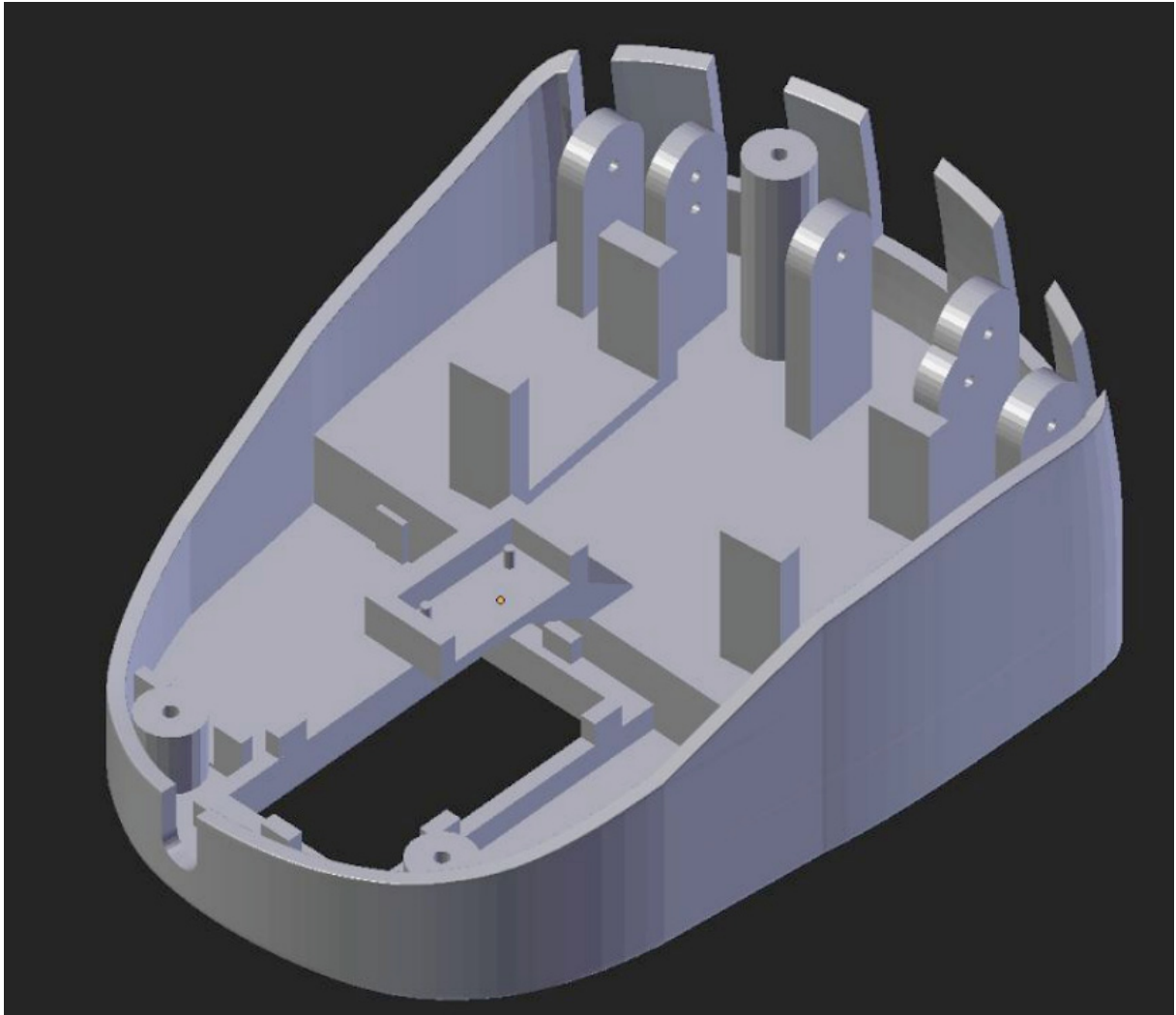


Figura 4.7: Estrutura interna do Protótipo II.

Os componentes que compõem o Protótipo II, são:

- 4 servomotores HS-82MG.
- 1 Arduino Nano.
- 1 Sensor óptico ADNS-5020.
- 4 Hastes curtas.
- 1 Sensor giroscópio MPU-6050.

Os componentes mencionados podem ser observados na Figura 4.8.

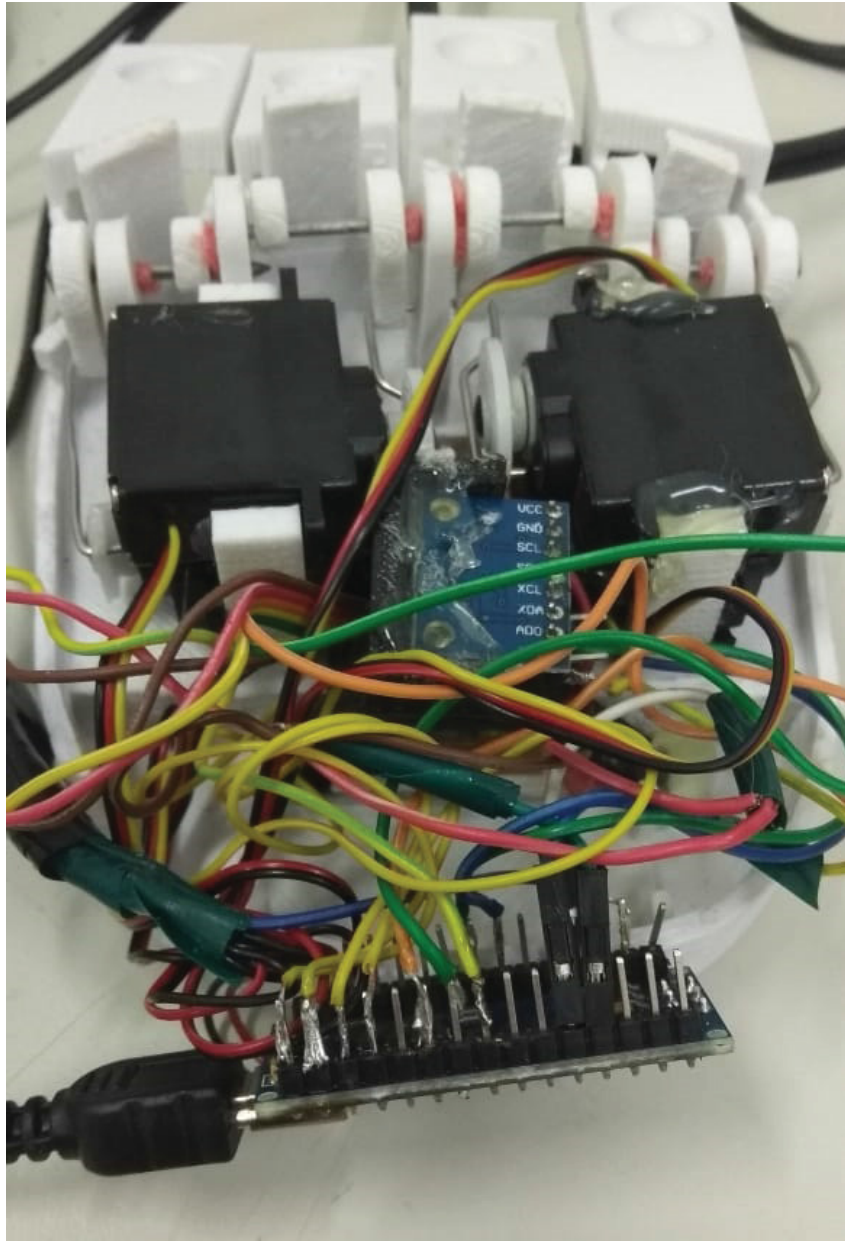


Figura 4.8: Disposição dos componentes eletrônicos.

- *Software:* Em conjunto com a nova abordagem háptica apresentada no próximo item, os pontos virtuais de referência aos dedos físicos apresentam-se alinhados ao longo do eixo Y (Figura 4.9).

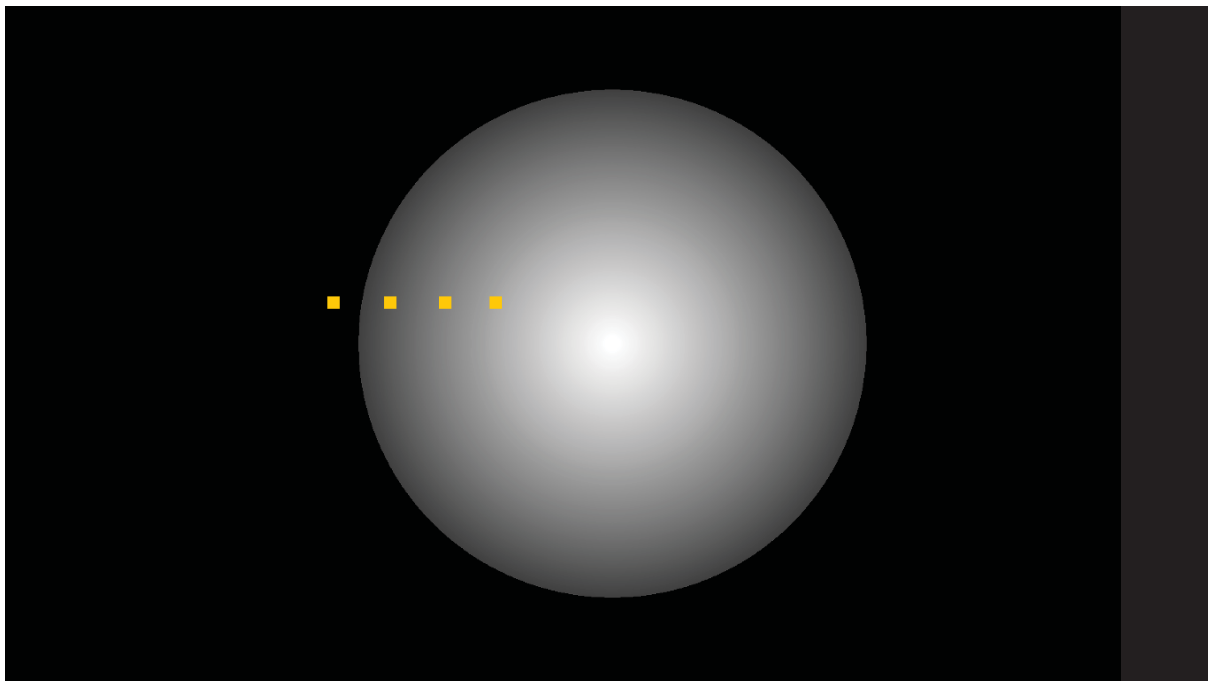


Figura 4.9: Interface exibindo os quatro pontos de contatos, alinhados horizontalmente.

Mantendo a liberdade pelos eixos X e Y, um sistema de rotação ao eixo Z foi integrado, verificando o quarto grau de liberdade ao Protótipo II.

- *Abordagem háptica:* Um novo modelo de haste háptica foi implementado (Figura 4.10) na tentativa de gerar experiências hápticas semelhantes entre usuários com diversos tamanhos de dedos.

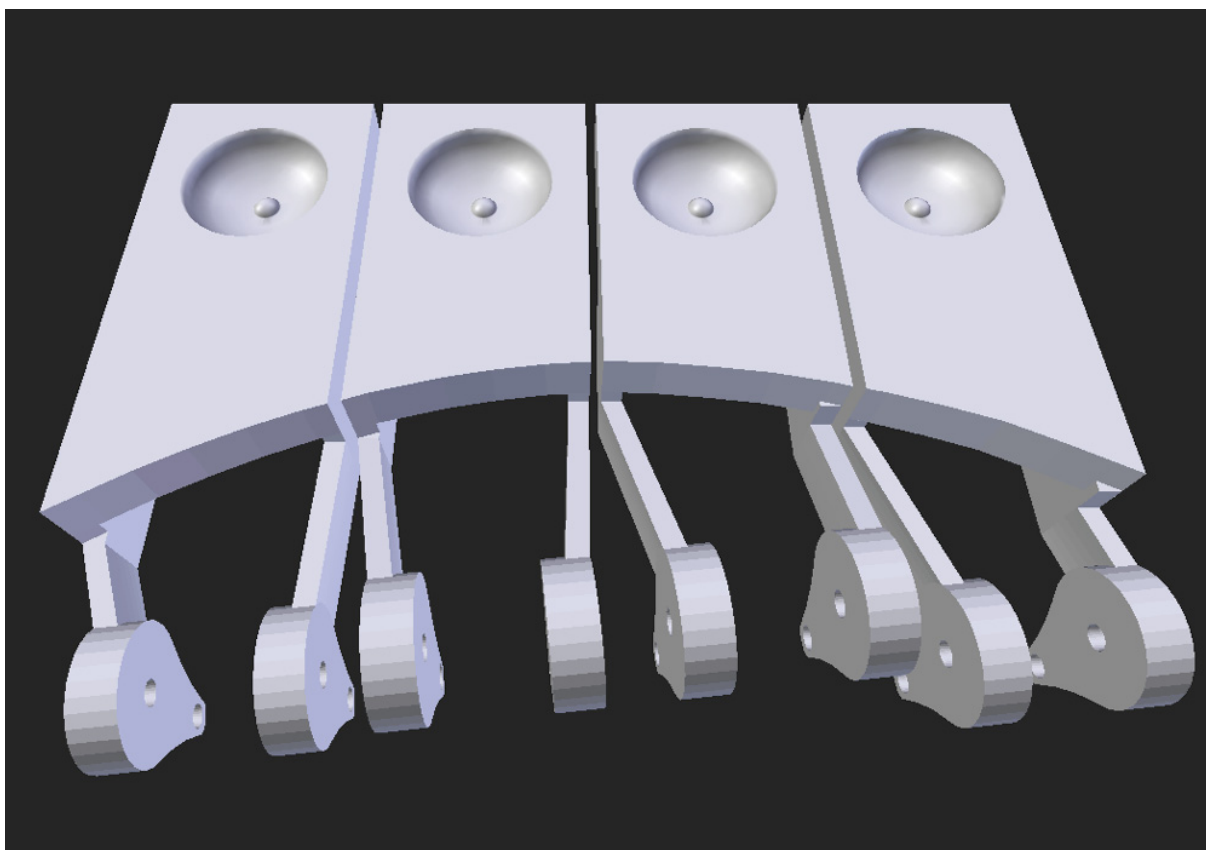


Figura 4.10: Hastes mais curtas e com pontos físicos de referência foram desenvolvidas.

O presente modelo possui uma concavidade com um ponto em proeminência, dessa forma esses pontos passam a ser os correspondentes aos representados pelo sistema (Figura 4.11).



Figura 4.11: Representação dos pontos de contato.

